

**Relatório Parcial de Iniciação Científica**

**Bolsa Institucional (RUSP)**

**Período: Agosto de 2012 a Julho de 2013**

*ESTUDO OBSERVACIONAL DA ONDA DE TEMPERATURA DO SOLO  
NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMANDANTE  
FERRAZ*

Aluno: Fábio Alves Gomes Luengo

e-mail: Fabio.luengo@usp.br

Orientadora: Jacyra Soares

**Departamento de Ciências Atmosféricas**

**IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas**

**USP – Universidade de São Paulo**

**Fevereiro de 2013**

## **Sumário**

<b>1. Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3. Região de estudo e dados</b>	<b>3</b>
<b>4. Metodologia</b>	<b>4</b>
<b>5. Resultados</b>	<b>6</b>
<b>6. Considerações finais</b>	<b>9</b>
<b>7. Futuras etapas</b>	<b>9</b>
<b>8. Referências bibliográficas</b>	<b>9</b>
<b>9. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período</b>	<b>10</b>
<b>10. Anexo</b>	<b>10</b>

## **1. Introdução**

A região Antártica pode trazer as respostas de algumas perguntas sobre o aquecimento global e mudanças climáticas, pois o continente é o mais isolado do planeta e possui pouca interferência antrópica, tendo uma resposta mais rápida às mudanças climáticas(<http://www.mar.mil.br/secrim/proantar.html>).

Há muita discussão sobre as mudanças climáticas e muitos estudos em diversas áreas sobre o assunto, uma delas é estudar as temperaturas do solo. Cada solo possui um calor específico e uma condutividade térmica diferente, influenciando diretamente no fluxo de calor das camadas mais profundas. Há solos que possuem calor específico mais alto, como o gelo e a neve, fazendo com que as camadas mais profundas demorem mais para se esquentar. A localidade geográfica da região é um fator essencial para determinar a temperatura do solo, pois latitudes mais altas apresentam menor intensidade do fluxo de radiação incidente na superfície (Arya, 2009)

## **2. Objetivo**

O objetivo principal do trabalho é descrever e analisar a variação diurna e sazonal da onda de temperatura do solo na região Antártica.

Na primeira etapa do trabalho foi realizado um tratamento dos dados utilizando apenas os dados de temperatura do ar e de temperaturas do solo no período de 1999 a 2010. Na próxima etapa do trabalho esses dados serão utilizados para realizar os cálculos do fluxo de calor no solo.

## **3. Região de estudo e dados**

A Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) se localiza em(62°05'S, 058° 23'W), fazendo parte da Península Keller dentro da Ilha Rei George, que é a maior das Ilhas Shetland do Sul (Figura 1). Possui uma temperatura média anual de 2.8°C abaixo de zero, e possui uma área coberta por gelo ou neve de 1.158 km<sup>2</sup>, equivalente a aproximadamente 92% do território, com uma umidade relativamente elevada (<http://www.mar.mil.br/secrim/proantar.html>).



**Figura 1:** Localização Geográfica da Estação Comandante Ferraz na Ilha Rei George.

Os dados utilizados neste projeto de Iniciação Científica foram obtidos na região da EACF e se encontram no site (<http://antartica.cptec.inpe.br/~rantar/weatherdata.shtml>). Os dados meteorológicos foram coletados com resolução temporal de uma hora. Neste trabalho, foram utilizados especificamente os dados de temperatura do ar e das temperaturas do solo na superfície, 5, 10 e 20 centímetros de profundidade, de janeiro e julho de 2010, por representarem um mês de verão e inverno do último ano que se obteve dados de todos os meses.

#### 4. Metodologia

De acordo com Arya (2009), há uma grande dificuldade para conseguir medidas diretas da temperatura da superfície, devido ao grande gradiente que existe entre a superfície e a atmosfera (podendo variar de 10 a 20 K  $\text{mm}^{-1}$ ). A temperatura máxima da superfície ocorre entre uma e duas horas após a insolação máxima, sendo mais elevada com o céu claro e quando há pouco vento; já a temperatura mínima é observada nas primeiras horas da manhã, quando o solo perdeu calor durante a noite.

As temperaturas do solo são mais fáceis de serem medidas. Tem sido observado que a amplitude da variação diurna nas temperaturas do solo tem seu decaimento exponencial de acordo com a profundidade, e se torna insignificante nas profundidades abaixo de 1 metro. Os fatores mais importantes para determinar a temperatura do solo é a sua latitude, pois varia a quantidade de onda curta incidente por ano, tipo de solo (Tabela 1) e condição do solo (Arya, 2009).

Material	Condição	Densidade (kg m <sup>-3</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Calo específico (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Capacidade térmica (J m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> x 10 <sup>6</sup> )	Condutividade térmica (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Difusividade térmica (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup> )
Ar	20°C	0,0012	1,01	0,0012	0,025	20,05
Água	20°C	1,00	4,18	4,18	0,57	0,14
Gelo	0°C	0,92	2,10	1,93	2,24	1,16
Neve	Fresca	0,10	2,09	0,21	0,08	0,38
Neve	Velha	0,48	2,09	0,21	0,08	0,38
Solo arenoso	Fresca	1,60	0,80	1,28	0,30	0,24
Argila	Seca	1,60	0,89	1,42	0,25	0,18
Turfa	Seca	0,30	1,92	0,58	0,06	0,10
Pedra	Sólido	2,70	0,75	2,02	2,90	1,43

**Tabela 1:** Propriedades térmicas dos diferentes tipos de solo. Retirado do Arya(2009).

A taxa na qual o conteúdo de calor de uma camada de solo depende da capacidade térmica volumétrica ( $C_V$  em J m<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>), que por sua vez depende do tipo de solo, da sua umidade e também da mudança de temperatura do volume de solo por unidade de tempo. Essa taxa de transferência de calor ou do fluxo de calor é proporcional ao gradiente da temperatura na direção  $z$  (Oke, 1987):

$$-C_V \frac{\partial T}{\partial t} \Delta z \quad (1)$$

O fluxo de calor no solo ( $G$ ) é função do gradiente de temperatura e da condutividade térmica  $C_1$  (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>):

$$G = -C_1 \frac{\partial T}{\partial z} = -k C_V \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2)$$

onde  $k$  é a difusividade térmica do solo (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>). Dessa forma,  $\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( -C_1 \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Delta z$ .

Assumindo que as propriedades físicas do solo vão se tornando constantes de acordo com a profundidade (Stull, 1988), a equação da difusão de calor em solo homogêneo é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{C_1}{C_V} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Delta z = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3)$$

Para qualquer prescrição arbitrária da temperatura da superfície é uma função que depende do tempo e da camada de solo a ser calculada. A solução analítica é obtida quando a temperatura da superfície é especificada como uma função senóide do tempo e da camada, que é dada por:

$$T(z, t) = T_M + \Delta T \exp\left(\frac{z}{d}\right) \sin\left(\omega t + \phi_0 + \frac{z}{d}\right) \quad (4)$$

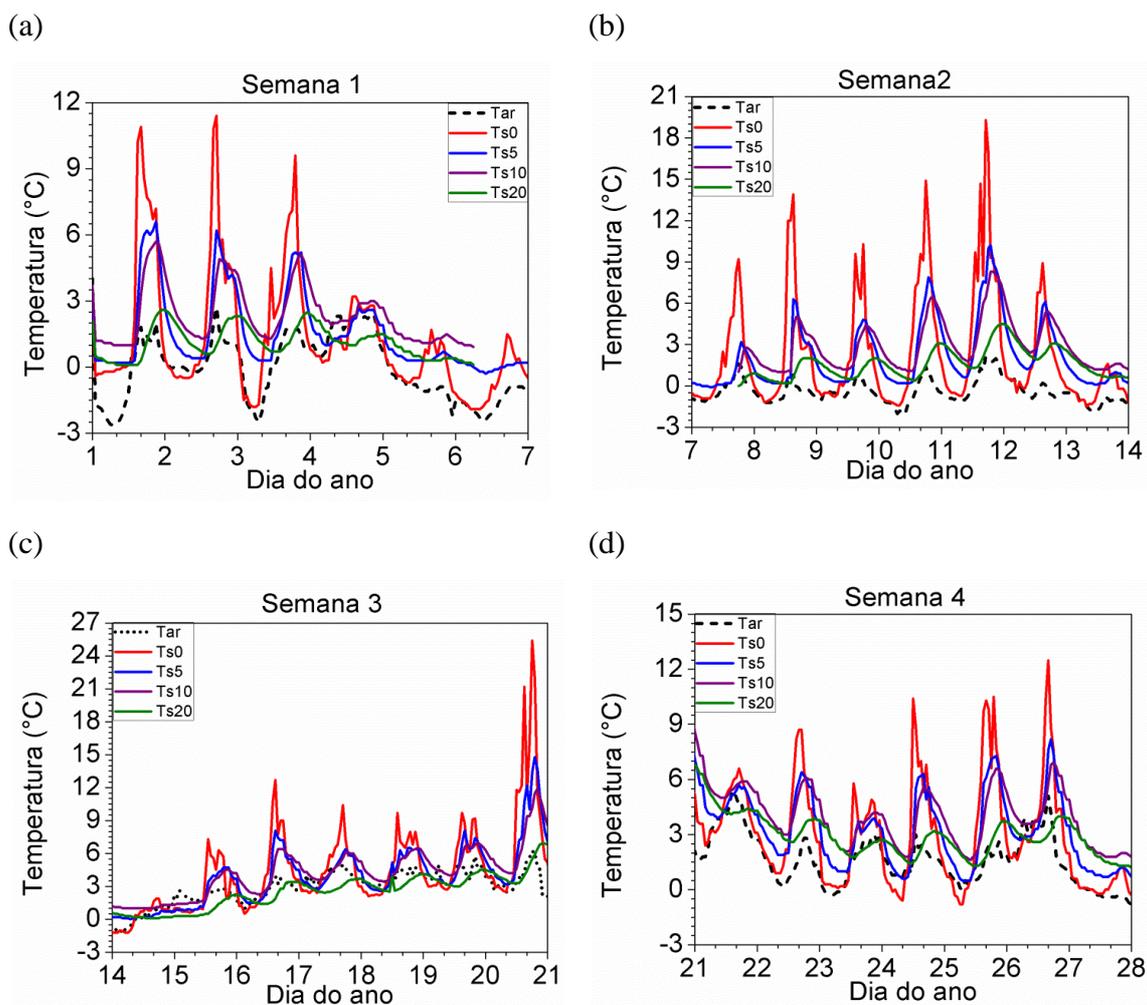
Onde  $T_M$  é a temperatura média da camada,  $\omega = \frac{2\pi}{P}$ , com  $P$  sendo o período diurno (24 h) ou o período anual (365 dias),  $\phi_0$  é a fase inicial e  $d$  é a profundidade de amortecimento:  $d = \sqrt{\frac{2k}{\omega}}$ .

Na próxima etapa do trabalho, as equações 1-4 serão utilizadas para estimar o cálculo do fluxo de calor no solo da região da EACF.

## 5. Resultados

Nessa primeira etapa do projeto foi realizado um programa em linguagem Fortran, para separar do arquivo original os dados de temperatura do ar, da superfície, a 5, 10 e 20 centímetros de profundidade e a onda curta incidente na região da EACF numa resolução temporal de uma hora, necessários para o referido trabalho (programa em anexo). No começo houve dificuldades em aprender e a utilizar a linguagem e de se fazer o programa de forma que funcionasse para os dados dos anos entre 1999 e 2010. Após o programa, foram construídos alguns gráficos utilizando o programa originPro 8, das temperaturas de ar, da superfície e a 5, 10 e 20 centímetros de profundidade.

Como exemplo foram construídos quatro gráficos do mês de janeiro de 2010 (Figuras 2a-d) e quatro do mês de julho de 2010 (Figuras 3a-d). Esses meses foram escolhidos por representarem um mês de verão e outro de inverno.



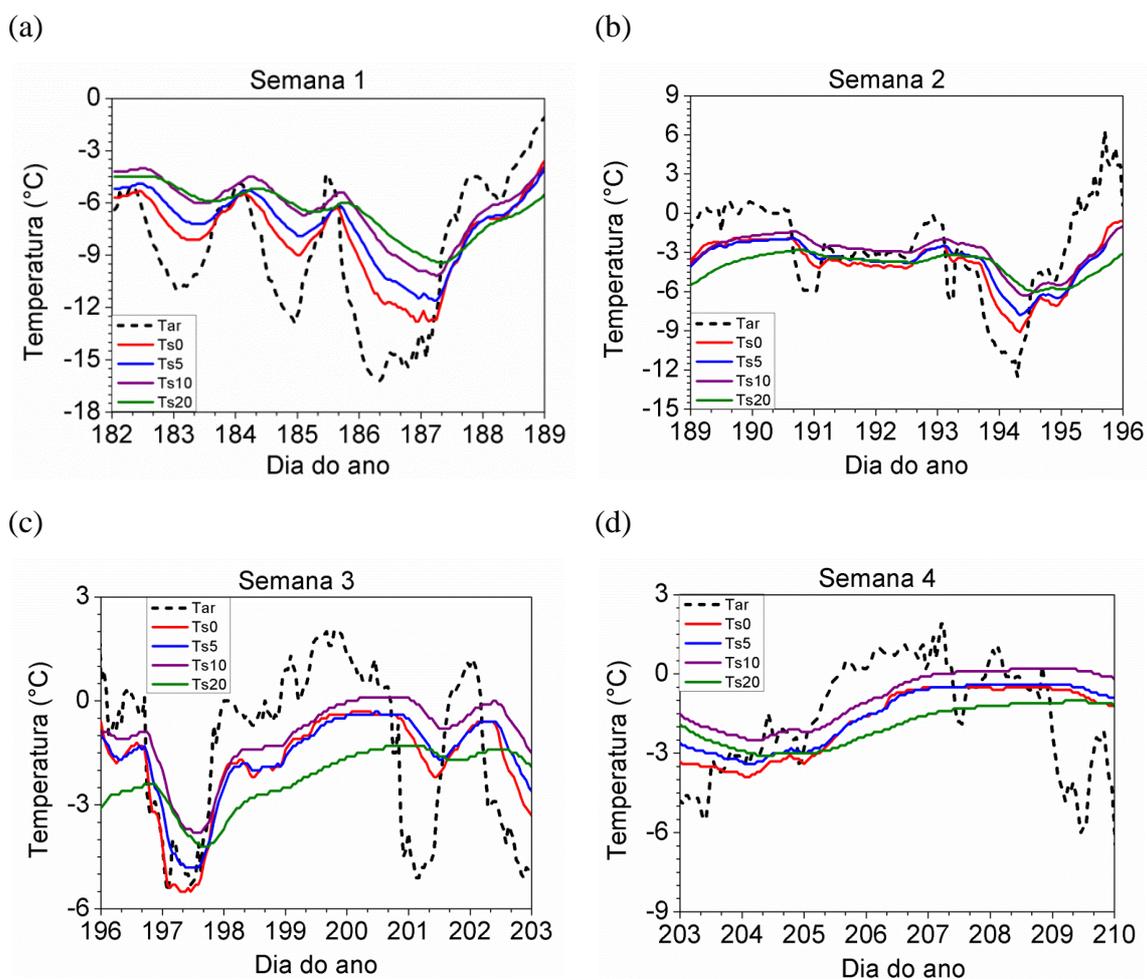
**Figura 2:** Variação temporal das temperaturas: do ar (em preto), da superfície do solo (em vermelho), do solo a 5 cm de profundidade (em azul), do solo a 10 cm de profundidade (em roxo) e a 20 cm de profundidade (em verde). Semana (a) 1, (b) 2, (c) 3 e (d) 4 de janeiro de 2010.

Entre os dias 6 e 8 (Figuras 2a,b) alguns dados foram retirados por inspeção visual por estarem muito fora do padrão observado no restante da figura. No dia 20 houve um aumento brusco na temperatura da superfície tendo um pico de 25,4°C às 18 horas provavelmente devido a máxima radiação solar algumas horas antes (Figura 2c). Segundo Arya (2009), a radiação máxima na superfície ocorre entre uma e duas horas após a insolação máxima do dia. Esse aumento na temperatura será investigado com maior detalhe no próximo período da bolsa. Na figura 2d observa-se que houve uma menor variação nas amplitudes das temperaturas na quarta semana.

Em todas as figuras observa-se que as temperaturas do ar e da superfície começam a aumentar a partir das 8 horas, tendo suas temperaturas máximas próximas às

16 horas, enquanto as temperaturas a 5, 10, e 20 centímetros de profundidade têm suas temperaturas máximas algum tempo depois com amplitudes menores.

Pelas figuras, em janeiro de 2010 as curvas das temperaturas do solo se aproximam mais de uma função senóide do que as curvas de julho do mesmo ano (Figuras 3a-d).



**Figura 3:** Variação temporal das temperaturas: do ar (em preto), da superfície do solo (em vermelho), do solo a 5 cm de profundidade (em azul), do solo a 10 cm de profundidade (em roxo) e a 20 cm de profundidade (em verde). Semana (a) 1, (b) 2, (c) 3 e (d) 4 de julho de 2010.

Na figura 3a,b,d observa-se uma variação maior na temperatura do ar do que nas temperaturas de solo. Na figura 3c houve uma maior variação nas temperaturas do solo, tendo o comportamento das curvas parecidas com o comportamento da curva da temperatura do ar.

As curvas no mês de julho são diferentes do mês de janeiro, pois julho apresenta poucas horas de radiação por onda curta e com menor intensidade, fazendo com que a

amplitude da temperatura do ar seja maior e as amplitudes das temperaturas do solo sejam menores.

## **6. Considerações Finais**

Nessa primeira etapa do projeto foi feito um programa utilizando a linguagem Fortran para tratar os dados meteorológicos da EACF e construídos alguns gráficos das temperaturas do ar, da superfície, a 5, 10 e 20 centímetros de profundidade dos meses de janeiro e de julho do ano de 2010 da EACF. Percebe-se através das figuras que as temperaturas das camadas mais profundas apresentam, como esperado, uma amplitude menor.

## **7. Etapa futura**

Na próxima etapa do trabalho, no primeiro semestre de 2013, serão realizados os cálculos de fluxo de calor no solo considerando o solo homogêneo e o da função analítica que depende do tempo e da camada a ser estudada. Pretende-se também investigar como se comportam as ondas de temperatura do solo e a evolução diurna e sazonal com outros estudos disponíveis na literatura.

## **8. Referências bibliográficas**

Arya, S. Pal, 2009: *Introduction to Micrometeorology, Second edition*, International Geophysics Serie, USA, 415 pp.

Oke, T. R. ,1978: *Boundary Layer Climates*, Methuem, London, 372pp.

Stull, R. B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteor.* Kluwer Academic Publishers. Holland.

## **9. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período**

A seguir são descritas outras atividades acadêmicas realizadas durante a vigência da bolsa.

Disciplinas cursadas:

- Física I – 3.9 (realizada a prova de recuperação e aguardando o resultado)

- Física experimental II – 7.2
- Oceanografia por satélite – 6.0
- Introdução às equações diferenciais ordinárias e aplicações – 4.4 (disciplina reprovada)

## 10. Anexo

Em anexo encontra-se o programa desenvolvido em linguagem Fortran que gera arquivos padrões do ano de 1999 ao ano de 2010 obtidos na EACF. Como exemplo, foi anexado o programa de janeiro de 2010.

C     RETIRA OS DADOS NECESSARIOS

program jan2010

implicitnone

C     DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS

real dia, hora, dj, pres, tar, td, ur, dv, vv, oc, cn, nb1, nb2

realnm, na, bn, vis, cur, prec, raj, tmin, tmax, t0, t5, t10, t20

real rem, log, bat

integer N, i

N= 500000

C     ABRINDO O ARQUIVO A SER LIDO

open (unit=10, file='jan10.csv')

C     ARQUIVO A SER GERADO

open (unit=11, file='janeiro\_2010.dat')

C PULANDO AS LINHAS DO CABEÇALHO DO ARQUIVO LIDO

```
read(10,*)
```

```
read(10,*)
```

```
read(10,*)
```

C ESCREVENDO O CABEÇALHO NO ARQUIVO A SER GERADO

```
write (11,*) 'Janeiro 2010'
```

```
write(11,*) 'DJ Dia Hora Tar OC
```

```
+ Ts0 Ts5 Ts10 Td20'
```

```
write(11,*)' (°C) (W/m2)
```

```
+(°C) (°C) (°C) (°C)'
```

```
doi=1,N
```

```
read (10,*,end=50) dia, hora, pres, tar, td, ur, dv, vv, oc, cn,
```

```
+nb1, nb2, nm, na, bn, vis, cur, prec, raj, tmin, tmax, t0, t5,
```

```
+t10,t20, rem, log, bat
```

```
dj=dia+hora/24.0
```

```
write(*,*) dia, hora, tar, t0
```

c

```
write(11,300) dj,dia, hora, tar, oc, t0, t5, t10, t20
```

```
300 format(f8.4,8f8.1)
```

```
50 end do
```

C FECHANDO OS ARQUIVOS

```
close(10)
```

```
close(11)
```

C ENCERRANDO O PROGRAMA

```
end program jan2010
```